

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

10/784,012



① BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

② **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 196 29 009 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**F 42 C 11/00**

②① Aktenzeichen: 196 29 009.0  
②② Anmeldetag: 18. 7. 96  
②③ Offenlegungstag: 27. 2. 97

DE 196 29 009 A 1

③① Unionspriorität: ③② ③③ ③①

24.08.95 US 518169

⑦① Anmelder:

Auburn University, Auburn, Ala., US

⑦④ Vertreter:

Rehberg und Kollegen, 37085 Göttingen

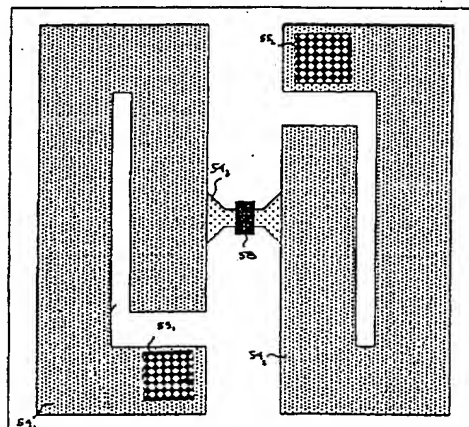
⑦② Erfinder:

Baginski, Thomas A., Alabama, Ala., US

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Gegenüber Hochfrequenz und elektrostatischer Entladung unempfindlicher Elektrozündsatz mit nichtlinearem Widerstand

⑤⑦ Ein Elektrozündsatz (50) weist zwei Serpentin-förmige Widerstände (54<sub>1</sub> und 54<sub>2</sub>) auf, die auf einem thermisch leitenden Substrat ausgebildet und über ein zentrales Brückenelement (54<sub>3</sub>) miteinander verbunden sind. Der Widerstand des Brückenelements (54<sub>3</sub>) ist viel niedriger als derjenige der Serpentin-förmigen Widerstände (54<sub>1</sub> und 54<sub>2</sub>), und die Serpentin-förmigen Widerstände (54<sub>1</sub> und 54<sub>2</sub>) haben ein viel größeres Verhältnis der Oberfläche zum Volumen. Eine Schicht (58) aus Zirkon ist auf dem Brückenelement (54<sub>3</sub>) angeordnet und explodiert in ein Plasma zusammen mit dem Brückenelement (54<sub>3</sub>), um eine pyrotechnische Mischung zu zünden. Der Widerstand des Brückenelements (54<sub>3</sub>) steigt mit der Temperatur an, wodurch das Brückenelement (54<sub>3</sub>) mehr Energie von einem angelegten Signal empfängt, wenn die Temperatur ansteigt. Der Elektrozündsatz (50) ist unempfindlich gegenüber eingekoppelter Hochfrequenzenergie und gegenüber elektrostatischer Entladung, da die meiste Energie dieser Streusignale auf die Serpentin-förmigen Widerstände (54<sub>1</sub> und 54<sub>2</sub>) und nicht auf das Brückenelement (54<sub>3</sub>) gerichtet ist. In einer anderen Ausführungsform sind zwei der Widerstände variable Metall-Oxidphase-Widerstände und ein dritter Widerstand wird von einer Fliegen-förmigen Schicht aus Zirkon ausgebildet. Die Widerstände durch die Metall-Oxidphase-Schichten sinken mit der Signalintensität ab, wodurch das Zirkon die meiste Energie von einem Zündsignal hoher Energie ...



DE 196 29 009 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNESDRUCKEREI 01. 97 602 069/552

20/24

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich allgemein auf einen Elektrozündsatz und genauer auf einen gegenüber Hochfrequenz und elektrostatischer Entladung unempfindlichen Elektrozündsatz mit nichtlinearem Widerstand.

Ein Elektrozündsatz empfängt elektrische Energie und löst eine mechanische Druckwelle und/oder eine exotherme Reaktion aus, beispielsweise eine Verbrennung, eine Deflagration oder Detonation. Elektrozündsätze werden sowohl bei zivilen als auch militärischen Anwendungen für eine Vielzahl von Zwecken eingesetzt, beispielsweise zum Auslösen von Airbags in Kraftfahrzeugen oder zum Aktivieren einer Energiequelle bei einem Artilleriesystem.

Bezugnehmend auf Fig. 1 weist ein typischer Elektrozündsatz 10 einen dünnen Widerstandsdraht oder Brückendraht 12 auf, der zwischen zwei Stützen 14 aufgehängt ist, von welchen nur eine gezeigt ist. Der Brückendraht 12 ist von einer entzündbaren Mischung 18 umgeben, die gemeinhin als pyrotechnische Mischung bezeichnet wird. Um die Verbrennung der pyrotechnischen Mischung 18 auszulösen, wird ein Gleichstrom oder ein sehr niedrigerfrequenter Wechselstrom durch die Leitungsdrähte 16, die Stützen 14 und dann durch den Brückendraht 12 geführt. Der durch den Brückendraht 12 hindurchtretende Strom resultiert in ein ohmsches Aufheizen des Brückendrahts 12, und wenn der Brückendraht 12 die Zündungstemperatur der pyrotechnischen Mischung 18 erreicht, zündet die pyrotechnische Mischung 18. Die pyrotechnische Mischung 18 ist eine Primärladung, die eine Sekundärladung 20 zündet, welche ihrerseits eine Hauptladung 22 zündet. Der Elektrozündsatz weist weiterhin verschiedene Schutzelemente auf, beispielsweise eine Buchse 23, einen Stopfen 24 und ein Gehäuse 26.

Obwohl ein Elektrozündsatz eine allgemein bekannte Vorrichtung ist, hat sich die elektromagnetische Umgebung, in der Elektrozündsätze arbeiten, über die letzten vier Dekaden dramatisch verändert. Eine in der Arbeitsumgebung für Elektrozündsätze aufgetretene Veränderung ist, daß die Elektrozündsätze höheren Graden von elektromagnetischer Interferenz ausgesetzt sind. Der notwendige Betrieb von Hochleistungsradar- und -kommunikationseinrichtungen in der Nähe von Elektrozündsätzen, wie beispielsweise auf dem Flugdeck eines Flugzeugträgers ergibt eine typische Arbeitsumgebung, die elektromagnetische Felder hoher Intensität aufweist. Der Elektrozündsatz, der einen Airbag in einem Kraftfahrzeug auslöst, kann starker elektromagnetischer Interferenz während der normalen Lebensdauer des Kraftfahrzeugs ausgesetzt sein. So sind Elektrozündsätze hochgradiger elektromagnetischer Interferenz sowohl in militärischen als auch in zivilen Umgebungen ausgesetzt.

Hochfrequenzfelder großer Intensität, die ein ernstes Problem der elektromagnetischen Interferenz darstellen, können elektromagnetische Energie entweder auf direktem oder auf indirektem Weg in einen Elektrozündsatz einkoppeln und eine unbeabsichtigte Zündung verursachen. Elektromagnetische Energie kann direkt in einen Elektrozündsatz eingekoppelt werden, indem Hochfrequenzstrahlung auf das Gehäuse des Elektrozündsatzes einwirkt, wodurch der Elektrozündsatz wie die Last einer Empfangsantenne wirkt. Die elektromagnetische Energie kann alternativ indirekt in den Elektrozündsatz eingekoppelt werden, indem eine durch Hochfrequenz ausgelöste Lichtbogenbildung in der Nähe des Elektrozündsatzes es auftritt und in den Elektrozündsatz eingekoppelt wird, beispielsweise über seine Leitungen. Eine durch Hochfrequenz induzierte Entladung kann immer dann auftreten, wenn eine über einem Luftspalt akkumulierte Spannung ausreichend ist, um das Gas zu ionisieren und einen ionisierten Kanal aufrecht zu erhalten.

Die Elektrozündsätze, die in der Nähe von intensiven Hochfrequenzfeldern angeordnet sind, beispielsweise auf Überwasserschiffen der Marine, können Signalanteile aufgrund der Gleichrichtung von Hochfrequenzstrahlung empfangen. Die Hochfrequenzstrahlung kann beispielsweise durch die Diodenwirkung eines einfachen Metallkontakts, welche typischerweise durch Korrosion von Kontakten oder unkorrekten Anschluß von Verbindungselementen verursacht wird, gleichgerichtet werden. Das gleichgerichtete Signal kann Anteile von viel geringerer Frequenz als die ursprüngliche Hochfrequenzstrahlung und auch einen Gleichstromanteil aufweisen, wobei alle diese Anteile in den Elektrozündsatz eingekoppelt werden und eine unbeabsichtigte Zündung auslösen können. Die Hochfrequenzstrahlung kann in vielen Umgebungen gleichgerichtet werden, in denen ein Elektrozündsatz gefunden werden kann, einschließlich Kraftfahrzeugumgebungen, wo große Ströme oder Spannungen sehr schnell geschaltet werden, wodurch hochgradiges Rauschen produziert wird.

Eine andere Weise, in der ein Elektrozündsatz unbeabsichtigt ausgelöst werden kann, ist das Einkoppeln einer elektrostatischen Entladung in den Elektrozündsatz. Eine elektrostatische Entladung ist durch ein Signal hoher Spannung und recht geringer Energie gekennzeichnet. Während die Energie der elektrostatischen Entladung üblicherweise unzureichend ist, um irgendein signifikantes ohmsches Aufheizen des Elektrozündsatzes zu verursachen, kann die Hochspannung ein ausreichend großes elektrisches Feld zwischen den Anschlußpins des Elektrozündsatzes erzeugen, um die pyrotechnische Mischung zu zünden.

Die Installation von einem oder mehreren passiven Filtern ist ein Weg, um Elektrozündsätze vor elektromagnetischer Interferenz zu schützen. Verschiedene Standardtypen von passiven Filtern existieren, die zum Abschwächen von Hochfrequenz-Streusignalen verwendet werden können. Diese Filter sind üblicherweise als L-, Pi- oder T-Typen oder als Kombination dieser drei Typen klassifizierbar. Die passiven Filter vom L-, Pi- und T-Typ, die in den Fig. 2(A), (B) bzw. (C) dargestellt sind, werden traditionell als erste Maßnahme zum Ausräumen von Problemen mit elektromagnetischer Interferenz eingesetzt.

Konventionelle passive Filter, die bei Elektrozündsätzen eingesetzt werden, haben jedoch verschiedene Nachteile. Ein konventioneller Filter besteht aus einer Kombination von Spulen, Kondensatoren und/oder anderen verlustbehafteten Elementen, wie beispielsweise Widerstandsferriten. In der Regel ist die Leistungsfähigkeit des Filters der Anzahl und Größe der in seiner Konstruktion verwendeten Elemente direkt proportional. So kann ein Filter ausgebildet werden, um ein Signal in größerem Maße abzuschwächen, falls die Größen der Spulen, Kondensatoren und Ferritbuchsen sämtlich erhöht werden. Auch hat ein Filter mit einer größeren Anzahl von Stufen grundsätzlich eine verbesserte Leistungsfähigkeit. Die Größe der Filter ist durch den zur

Verfügung stehenden Raum jedoch häufig begrenzt. Im Ergebnis kann es unmöglich sein, dem Elektrozündsatz einen Filter hinzuzufügen, oder der Filter, für den der zur Verfügung stehende Raum ausreicht, kann unzureichend sein, um den Elektrozündsatz vor elektromagnetischer Interferenz zu schützen.

Die Filter werden üblicherweise aus passiven Standardkomponenten ausgebildet, die auf einem gedruckten Schaltkreis angeordnet oder innerhalb eines Metallgehäuses fest verdrahtet sind. Ein typisches Beispiel eines Hochfrequenzfilters 30 ist in Fig. 3(A) gezeigt. Der Hochfrequenzfilter 30 weist u. a. einen keramischen Kondensator 32 und eine gewickelte Ringspule 34 auf. Wie in Fig. 3(B) gezeigt, weist der keramische Kondensator 32 eine Mehrzahl von Elektrodenschichten 38 auf, die durch ein dielektrisches keramisches Material 36 getrennt sind. Wie aus Fig. 3(A) hervorgehen sollte, machen die Größe des Kondensators 32 und der Spule 34 den Filter 30 für viele Anwendungen zu groß, beispielsweise in Waffensystemen, wo der Platz besonders begrenzt ist. Deshalb besteht ein Bedürfnis nach einem Elektrozündsatz geringer Größe, der ausreichend vor elektromagnetischer Interferenz geschützt ist.

Zusätzlich zu der Beschränkung durch den zur Verfügung stehenden Platz können auch die Kosten des Elektrozündsatzes und des Filters die Größe des Filters beschränken. Die Kosten jedes Filters stehen in direkter Beziehung zu der Anzahl der Kondensatoren, Spulen und der anderen den Filter ausbildenden Elemente. Selbst wenn einige Filter nur eine geringe Anzahl von Komponenten aufweisen, sind die Kosten pro Einheit beim Zusammenbau des Filters im Vergleich zu den Kosten eines Elektrozündsatzes relativ hoch. So kann bei einer Großserienproduktion von Elektrozündsätzen und den dazugehörigen Filtern der gesamte Kostenanstieg ganz erheblich werden.

Ein weiterer Nachteil von passiven Filtern ist, daß sie nicht in der Lage sind, viele niedrigfrequente Signale herauszufiltern, die ein unbeabsichtigtes Zünden des Elektrozündsatzes verursachen können. Weil das Signal zum Zünden des Elektrozündsatzes ein Gleichstromsignal ist, sind die konventionellen Filter ausgebildet, um Gleichstrom- und andere, niedrigfrequente Signale ungehindert hindurchzulassen. Die Filter sind deshalb nicht in der Lage, die aufgrund von Gleichrichtungen von Hochfrequenzsignalen anfallenden niedrigfrequenten Signale sowie andere niedrigfrequente oder Gleichstromsignale abzuschwächen.

Selbst mit einem Filter, der wirksam verschiedene Arten von elektromagnetischer Interferenz filtern kann, ist der Elektrozündsatz nicht vollständig sicher vor unbeabsichtigter Zündung. In einem konventionellen Filtersystem sind der Filter und der Elektrozündsatz im wesentlichen zwei separate Komponenten. Bezugnehmend auf Fig. 4 kann ein nicht fortschreitendes magnetisches Feld B durch Schleifeninduktion eine Ursprung hervorgerufen. Die Ursprung ist proportional zu  $wAB$ , wobei  $B = \mu_0 H$ , A der Querschnittsbereich und w die Frequenz des magnetischen Felds B ist.

Der Elektrozündsatz kann weiterhin durch Abschirmen vor elektromagnetischer Interferenz geschützt werden. Die Abschirmung eines Elektrozündsatzes ist jedoch nur dann wirksam, falls der Aufbau einer Barriere und die Arbeitsverfahren die Integrität der abschirmenden Struktur garantieren können. Wenn eine große Anzahl von Elektrozündsätzen hergestellt wird, wird es wahrscheinlich, daß einige der Elektrozündsätze eine defekte Abschirmstruktur aufweisen. Somit ist das Abschirmen von Elektrozündsätzen nicht der beste Weg, Elektrozündsätze zu schützen.

Eine andere Einrichtung, die vorgesehen ist, einen Elektrozündsatz vor unbeabsichtigtem Zünden zu schützen, ist ein Funkenfänger mit einer Funkenstrecke. Der Funkenfänger mit der Funkenstrecke wird verwendet, um die Wahrscheinlichkeit zu reduzieren, daß eine elektrostatische Entladung ein unbeabsichtigtes Zünden hervorruft, und besteht im wesentlichen aus zwei leitenden Elektroden, die einen genauen Abstand voneinander entfernt sind, wodurch ein Luftspalt definiert ist. Wenn die Stärke eines über die Elektroden entwickelten elektrischen Felds die dielektrische Stärke der Luft überschreitet, tritt ein Durchschlag auf, und überschüssige elektrische Ladung kann frei über den Luftspalt von einer Elektrode zu der anderen Elektrode fließen. Die Elektrode, die die überschüssige Ladung empfängt, ist typischerweise geerdet, so daß die Ladung von allen empfindlichen Elementen in dem Elektrozündsatz abgeleitet wird.

Ein Funkenfänger mit einer Funkenstrecke ist auf einen präzisen Abstand der Elektroden angewiesen, um sicher zu stellen, daß statische Entladung zur Erde abgeleitet wird. Die mechanischen Grundlagen zur Ausbildung präziser Luftspalte können teure Herstellungstechniken erfordern. Im Ergebnis kann ein Funkenfänger mit Funkenstrecke die Kosten eines Elektrozündsatzes deutlich erhöhen.

Der Funkenfänger mit Funkenstrecke kann außerdem bei der Installation und der Handhabung des Elektrozündsatzes zerstört werden. Ein typischer Funkenfänger mit Funkenstrecke ist eine Entladescheibe oder ein Entladeblech mit einer zentralen Öffnung, durch die sich Leitungsdrähte erstrecken. Eine dünne elektrisch leitende Schicht steht mit dem Gehäuse des Elektrozündsatzes in Kontakt aber durch den präzisen Luftspalt außer Kontakt mit den Leitungsdrähten. Falls die Leitungsdrähte gebogen werden, beispielsweise während des Zusammenbaus, kann die Wirksamkeit des Luftspalts ernsthaft behindert werden.

Um die Empfindlichkeit eines Elektrozündsatzes gegenüber Streusignalen zu reduzieren, kann die absolute Energie des Zündsignals erhöht werden, die erforderlich ist, um den Elektrozündsatz zu zünden. Im Ergebnis können Streusignale niedrigen Niveaus durch den Brückendraht geleitet werden, ohne eine Zündung zu verursachen, und nur das Zündsignal höheren Niveaus hat ausreichend Energie zum Zünden des Elektrozündsatzes.

Ein Zündsignal höherer Größenordnung ist jedoch nicht immer wünschenswert. Ein Elektrozündsatz ist typischerweise mit einem Auslösesystem versehen, das den Elektrozündsatz mit dem Zündsignal versorgt. Das Auslösesystem weist typischerweise einen Kondensator auf, der die Spannung speichert, welche zum Erzeugen des Zündsignals erforderlich ist. Falls die Energie des Zündsignals erhöht wird und die Spannung konstant bleibt, muß die Größe des Kondensators ebenfalls steigen. Wegen des größeren Kondensators steigen die Kosten des Auslösesystems merklich an. So können umgekehrt durch Absenken der Größe des Zündsignals die Kosten des Elektrozündsatzes und des Auslösesystems reduziert werden.

Es ist auch wünschenswert, ein niedrigeres Zündsignal zu haben, wenn die zur Verfügung stehenden Energie

begrenzt ist. Zum Beispiel werden viele Kraftfahrzeuge derzeit mit zwei Airbags hergestellt, von denen jeder einen separaten Elektrozündsatz erfordert. Zukünftige Ausstattungen von Kraftfahrzeugen können fünf oder mehr Airbags aufweisen, wobei zusätzliche Elektrozündsätze zur Betätigung der Sitzgurte im Fall einer Kollision verwendet werden können. Bei der größeren Anzahl der Elektrozündsätze, die wahrscheinlich in einem Kraftfahrzeug vorhanden sein werden, sollte die Größe des Zündsignals möglichst klein sein.

In einer Kraftfahrzeugumgebung muß ein Airbag im Fall einer Kollision so schnell wie möglich aktiviert werden, um den für die Insassen des Fahrzeugs bereitgestellten Schutz zu maximieren. Der Elektrozündsatz, der den Airbag aktiviert, muß deshalb in der Lage sein, schnell zu zünden, darf aber nicht unbeabsichtigt durch Streuhochfrequenz oder elektrostatische Entladung zündbar sein. Weiterhin sollte der Elektrozündsatz, wie oben beschrieben, mit einem Zündsignal geringer Energie ausgelöst werden können. Es fällt schwer, einen Elektrozündsatz industriell herzustellen, der schnell auslösbar, unempfindlich gegenüber Hochfrequenz und elektrostatischen Entladung, kostengünstig herstellbar und mit einem Zündsignal niedriger Energie zündbar ist.

Die Verwendung eines Elektrozündsatzes in einer Kraftfahrzeugumgebung ergibt auch andere Schwierigkeiten. Zum Beispiel verwendet der heute üblicherweise zum Aktivieren von Kraftfahrzeugaubags eingesetzte Elektrozündsatz typischerweise Bleiazid als Primärladung. Bleiazid ist ein extrem explosives Material und erzeugt beim Zünden eine sich schnell ausbreitende Druckwelle. Aufgrund der hochexplosiven Natur des Bleiazids und der Größe der bei einer Explosion erzeugten Druckwelle, muß notwendigerweise ein Stahlgewebe um den Elektrozündsatz angeordnet werden, um zu verhindern, daß der Druckaustritt aus dem Elektrozündsatz den Airbag zerreißt. Das hochfeste Stahlgewebe verkompliziert jedoch das Herstellungsverfahren und fügt zusätzliche Kosten zu dem Aufbau des Elektrozündsatzes hinzu. Es besteht deshalb ein Bedürfnis nach einem kostengünstigen Elektrozündsatz, der nicht die Verwendung einer Primärladung erfordert.

Die Empfindlichkeit eines Elektrozündsatzes kann auch durch den Einsatz einer Ferritperle verringert werden. Wenn eine hohle Ferritperle auf einem Draht angeordnet wird, läßt die Ferritperle das Gleichstromzündsignal durch, sie stellt aber eine mit der Frequenz anwachsende Impedanz dar. Demgemäß stellt die Ferritperle bei elektromagnetischer Interferenz eine Impedanz für diese Signale dar, die die elektromagnetische Energie dieser Signale in Wärme umwandelt.

Die Wirksamkeit einer Ferritperle ist eher begrenzt. Wenn die Intensität der Streusignale ansteigt, erhöht sich die Temperatur der Ferritperle und bei einer bestimmten Temperatur verliert die Ferritperle ihre magnetischen Eigenschaften. Wenn die Ferritperle zu heiß wird, wird die elektromagnetische Interferenz nicht länger von der Ferritperle in Wärme umgewandelt, sondern statt dessen in den Elektrozündsatz eingekoppelt, wodurch der Elektrozündsatz möglicherweise gezündet wird. So ist bei höhergradigen Signalen die Ferritperle nicht in der Lage, elektromagnetische Interferenz von dem Elektrozündsatz abzuleiten.

Es ist die grundsätzliche Aufgabe der Erfindung, die oben erläuterten Nachteile des Stands der Technik zu überwinden.

Insbesondere soll ein Elektrozündsatz aufgezeigt werden, der unempfindlich gegenüber elektromagnetischer Interferenz, elektrostatischer Entladung sowie Hochfrequenzstrefeldern ist, der eine geringe Größe aufweist, der kostengünstig ist und der mit einem Signal niedriger Energie gezündet werden kann.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß von einem Elektrozündsatz mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist ein Elektrozündsatz auf einem Substrat ausgebildet und weist ein erstes und ein zweites auf dem Substrat ausgebildetes Element auf, wobei das erste Element einen ersten Widerstand und das zweite Element einen gleich großen zweiten Widerstand aufweist. Ein drittes Element verbindet die beiden Elemente, weist einen dritten Widerstand auf, der viel kleiner als der erste und der zweite Widerstand ist, und ist zum Verdampfen in ein Plasma zum Zünden einer pyrotechnischen Mischung vorgesehen. Die Reihenschaltung der drei Elemente weist einen Gesamtwiderstand mit nichtlinearen Eigenschaften auf. Bei geringen Signalintensitäten empfängt das dritte Element deutlich weniger Energie von einem angelegten Signal als die beiden anderen Elemente. Bei höheren Signalintensitäten jedoch ist der Widerstand des dritten Elements viel größer als derjenige der beiden anderen Elemente, wodurch das dritte Element die meiste Energie von dem anliegenden Signal empfängt.

In einer Ausführungsform bestehen das erste, das zweite und das dritte Element aus einer Schicht aus Aluminium, wobei das erste und das zweite Element in Serpentin-Form ausgebildet sind und ein Verhältnis der Oberfläche zum Volumen aufweisen, das viel größer ist als dasjenige des dritten Elements. Im Ergebnis wird bei einem Hochfrequenzstreuungssignal ebenso wie bei einer elektrostatischen Entladung der größte Teil der Energie durch die Serpentin-Formigen Elemente in Wärme umgewandelt, während nur ein kleiner Teil durch das dritte Element verbraucht wird. Das Substrat ist vorzugsweise thermisch leitend, so daß jegliche Wärme, die vor dem ersten, zweiten oder dritten Element erzeugt wird, von dem ersten, zweiten oder dritten Element abgeleitet wird. Um den Zündvorgang zu unterstützen und zu fördern ist eine Schicht aus Zirkon auf dem dritten Element angeordnet und wird mit dem dritten Element aufgeheizt. Die Schicht aus Zirkon explodiert zusammen mit dem dritten Element in ein Plasma und beide Materialien kondensieren auf einer pyrotechnischen Mischung, die eine Mischung aus Zirkon und Kaliumperchlorat aufweist. Ein erfindungsgemäßer Elektrozündsatz arbeitet schneller und effizienter, weil das verdampfte Zirkon direkt mit dem Kaliumperchlorat in der pyrotechnischen Mischung reagieren kann.

In einer anderen Ausführungsform ist das dritte Element aus einer Fliegen-förmigen Schicht aus Zirkon ausgebildet und die ersten beiden Elemente weisen Metall-Oxid-Widerstände auf, die zwischen einer auf der Schicht aus Zirkon ausgebildeten Oxidphase und einem Metall in einem darüber angeordneten elektrischen Kontakt ausgebildet sind. Dabei bedeutet Fliegen-förmig, daß das dritte Element die Form einer als Fliege bezeichneten Kragenschleife aufweist. Die elektrischen Kontakte sind an beiden Enden der Schicht aus Zirkon ausgebildet und weisen eine große Oberfläche auf. Der Widerstand der Metall-Oxid-Widerstände ist viel größer

als derjenige der Schicht aus Zirkon, aber nimmt mit der Intensität des anliegenden Signals ab. So empfängt die Schicht aus Zirkon bei einem Zündsignal höherer Intensität immer mehr von der Energie des Zündsignals, bis die Schicht aus Zirkon in ein Plasma umgewandelt ist.

Ein anderer Aspekt der Erfindung betrifft ein Nebenschlußelement zur Verwendung in einem Elektrozündsatz mit dem Merkmalen des Anspruchs 23. Das Nebenschlußelement weist ein Substrat und eine auf dem Substrat ausgebildete leitende Schicht auf. Die leitende Schicht hat Fliegen-Form mit einem schmalen Zentralbereich. Erste und zweite Kontakte sind an beiden Enden der Fliegen-förmigen leitenden Schicht ausgebildet. Die leitende Schicht stellt einen Weg niedriger Impedanz zwischen dem ersten und dem zweiten Kontakt dar. Der Zentralbereich der leitenden Schicht wirkt als Zünder und verdampft bei einer Signalintensität oberhalb eines bestimmten Schwellwerts in ein Plasma. Vorzugsweise weist die leitende Schicht Aluminium auf und das Substrat ist thermisch leitend, so daß ohmsche Wärme von der Schicht aus Aluminium abgeleitet werden kann.

Die Erfindung wird im folgenden anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen und unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen, die nicht notwendigerweise maßstabsgetreu sind, näher erläutert und beschrieben, wobei

- Fig. 1 eine perspektivische Schnittansicht eines konventionellen Elektrozündsatzes ist; die
- Fig. 2(A), (B) und (C) Ersatzschaltbilder für passive L-, Pi- bzw. T-Filter sind;
- Fig. 3(A) eine geschnittene Seitenansicht eines konventionellen passiven Filters von L-Typ ist;
- Fig. 3(B) eine gebrochene perspektivische Ansicht eines Kondensators ist, der Bestandteil des passiven Filters von L-Typ gemäß Fig. 3(A) ist;
- Fig. 4 ein Ersatzschaltbild eines Elektrozündsatzes bei Einkopplung eines magnetischen Felds ist;
- Fig. 5(A) eine Draufsicht auf einen Elektrozündsatz gemäß der ersten Ausführungsform der Erfindung ist;
- Fig. 5(B) eine geschnittene Seitenansicht des Elektrozündsatzes gemäß Fig. 5(A) ist;
- Fig. 6 eine geschnittene Seitenansicht des Elektrozündsatzes gemäß Fig. 5(A) in einem Zünder ist;
- Fig. 7(A) eine Draufsicht auf einen Elektrozündsatz gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung ist;
- Fig. 7(B) eine geschnittene Seitenansicht des Elektrozündsatzes gemäß Fig. 7(A) ist;
- Fig. 8(A) eine Draufsicht auf ein Nebenschlußelement gemäß einer dritten Ausführungsform der Erfindung ist und

Fig. 8(B) eine geschnittene Seitenansicht des Nebenschlußelements gemäß Fig. 8(A) ist.

Bezugnehmend auf die Fig. 5(A) und (B) weist ein Elektrozündsatz 50 gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung ein als Siliziumscheibe ausgebildetes Substrat 52 mit Schichten 53 aus Siliziumdioxid auf der Vorder- und Rückseite oder ein thermisch leitendes aber elektrisch isolierendes Substrat, beispielsweise aus Aluminium-oxid, auf. Die dünnen Schichten 53 aus Siliziumdioxid gewährleisten eine elektrische Isolierung gegenüber dem Substrat 52, während sie einen Weg mit geringem thermischen Widerstand von einer Seite des Substrats 52 zu der anderen sicherstellen. Vorzugsweise weist das Substrat 52 einen niedrigen nominellen Widerstand und eine Dicke von etwa 6,35 mm auf, und die Schichten 53 aus Siliziumdioxid sind ungefähr 500 nm dick.

Eine dünne Schicht 54 aus Aluminium ist auf der Oberseite der Schicht 53 aus Siliziumdioxid abgelagert und selektiv weggeätzt worden, um ein Serpentina-Muster auszubilden. Die Schicht 54 aus Aluminium bildet einen ersten Pfad 54<sub>1</sub>, einen zweiten Pfad 54<sub>2</sub> und einen Fliegen-Bereich 54<sub>3</sub> aus, wobei der Fliegen-Bereich 54<sub>3</sub> den ersten Pfad 54<sub>1</sub> und den zweiten Pfad 54<sub>2</sub> miteinander verbindet. Der erste Pfad 54<sub>1</sub> und der zweite Pfad 54<sub>2</sub> haben vorzugsweise eine Breite von etwa 1,25 mm und der Fliegen-Bereich 54<sub>3</sub> hat vorzugsweise Abmessungen von etwa 0,125 mal 0,25 mm an der schmalsten Stelle des Bereichs 54<sub>3</sub>.

Eine Schicht 58 aus Zirkon ist selektiv auf dem Fliegen-Bereich 54<sub>3</sub> abgelagert. Die Schicht 58 aus Zirkon ist nicht auf den dargestellten Umfang beschränkt, sondern kann einen größeren oder kleineren Bereich des Fliegen-Bereichs 54<sub>3</sub> abdecken. Zum Beispiel kann die Schicht 53 aus Zirkon sich über nahezu die gesamte Länge des Fliegen-Bereichs 54<sub>3</sub> von dem ersten Pfad 54<sub>1</sub> bis zu dem zweiten Pfad 54<sub>2</sub> erstrecken. Die Schicht 53 aus Zirkon ist vorzugsweise etwa 1 µm dick.

Schichten 55<sub>1</sub> und 55<sub>2</sub> aus Titan/Nickel/Gold (Ti/Ni/Au) sind selektiv auf den Enden der Pfade 54<sub>1</sub> und 54<sub>2</sub> aus Aluminium abgelagert. Das Titan in den Schichten 55 sorgt für eine Haftung an den Schichten 54 aus Aluminium; das Nickel sorgt für einen lötbaren Kontakt, und das Gold schützt die Nickeloberfläche vor Oxidation. Die Kontaktierung der Ti/Ni/Au-Schichten 55<sub>1</sub> und 55<sub>2</sub> auf den Pfaden 54<sub>1</sub> und 54<sub>2</sub> aus Aluminium kann in jeder geeigneten Art und Weise ausgeführt werden, so durch Drahtbindung, Aufschmelzlötung oder leitende Epoxidharze. Die Ti/Ni/Au-Schichten 55 sind vorzugsweise etwa 0,6 µm dick.

Unter Bezugnahme auf die Fig. 5(B) und 6 ist ein Zünder 60 ausgebildet durch Ablagern einer Schicht 59 aus Titan/Nickel/-Gold (Ti/Ni/Au) auf die Rückseite des Substrats 52 über die siliziumdioxid-Schicht 53 und darauf folgendes Befestigen der Ti/Ni/Au-Schicht 59 auf einem Sockel 62, der vorzugsweise aus einer keramischen oder metallischen Legierung ausgebildet ist, beispielsweise aus Kovar<sup>TM</sup>. Die Ti/Ni/Au-Schicht 59 ist auf dem Sockel 62 mit einer Lötmittelpaste oder einem leitenden Epoxidharz befestigt, welche(s) erwärmt worden ist, um das Lösungsmittel zum Fließen zu bringen bzw. das Epoxidharz auszuhärten. Ein leitendes Epoxidharz 54 wird zwischen den Anschlußpins 66 an dem Sockel 62 und den Ti/Ni/Au-Schichten 55 aufgebracht, und eine Kappe 83 wird auf dem Sockel 62 angeordnet, um einen Hohlraum auszubilden, der mit einer gasentwickelnden oder pyrotechnischen Mischung 69 gefüllt ist.

Bei der tatsächlichen Verwendung wird ein Zündsignal, das dem Zünder 60 zugeführt wird, durch die Anschlußpins 66, durch das leitende Epoxidharz 54 und durch die Ti/Ni/Au-Schichten 55 geleitet. Das Zündsignal ruft einen Strom hervor, der entlang einem der beiden Pfade 54<sub>1</sub> oder 54<sub>2</sub>, durch den Fliegen-Bereich 54<sub>3</sub> und dann durch den anderen der beiden Pfade 54<sub>2</sub> bzw. 54<sub>1</sub> fließt. Der Widerstand der Schicht 54 aus Aluminium setzt sich im wesentlichen aus drei in Reihe geschalteten Widerständen zusammen, wobei die Pfade 54<sub>1</sub> und 54<sub>2</sub> jeweils einen Widerstand R<sub>1</sub> und der Fliegen-Bereich 54<sub>3</sub> einen Widerstand R<sub>F</sub> aufweisen.

Grundsätzlich kann der Widerstand R der Schicht 54 aus Aluminium gemäß der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$R = \frac{L}{p \cdot h \cdot w} \quad \text{Gleichung 1,}$$

wobei p der spezifische Widerstand des Materials, L die Länge der Metallschicht, h deren Höhe bzw. Dicke und w deren Breite ist.

Bei dem Zünder 60 ist die elektrische Impedanz, die sich bei einem an die Anschlußpins 66 angelegten Signal zeigt, rein ohmscher Natur und entspricht etwa der Summe  $2R_1 + R_F$ . Die Schicht 54 aus Aluminium definiert einen Spannungsteiler mit den Widerständen  $R_1$  und  $R_F$ , und das aktuell an dem Fliegen-Bereich 54<sub>3</sub> anliegende Signal ist um einen Faktor abgeschwächt, der dem Verhältnis von  $R_F/2R_1$  entspricht. Die Abschwächung A des anliegenden Signals kann vereinfacht werden zu:

$$A = \frac{(L_F/W_F)}{(2L_P/W_P)} \quad \text{Gleichung 2,}$$

wobei  $L_F$  und  $W_F$  die Länge und die Breite des Fliegen-Bereichs 54<sub>3</sub> und  $L_P$  und  $W_P$  die Länge und die Breite eines der Pfade 54<sub>1</sub> und 54<sub>2</sub> sind.

Aus Gleichung 2 wird ersichtlich, daß die Abschwächung A bei einem Eingangssignal geringer Höhe ein konstanter Wert ist, und daß sie nur durch das relative Verhältnis der Länge zur Breite der Widerstände  $R_1$  und  $R_F$  bestimmt wird. Die Schicht 54 aus Aluminium ist vorzugsweise derart ausgebildet, daß eine Abschwächung A von ungefähr 1/20 erreicht wird, was etwa -26 dB entspricht. Dem Fachmann ist es jedoch klar, daß die Größe der Abschwächung A nicht auf diesen genauen Wert festgelegt ist, sondern daß andere Werte der Abschwächung A durch einfaches Variieren der Geometrie der Schicht 54 aus Aluminium realisiert werden können.

Aufgrund der Abschwächung A, die durch die Widerstandsreihe der Widerstände  $R_1$  und  $R_F$  erhalten wird, wird der überwiegende Teil der elektrischen Leistung, die dem Zünder 60 zugeführt wird, durch ohmsches Aufheizen der beiden Widerstände  $R_1$  in Wärme umgewandelt. Die Widerstände  $R_1$  weisen ein großes Verhältnis der Oberfläche zum Volumen auf, um so eine große Oberfläche für die Ableitung von Wärme von den Widerständen  $R_1$  durch die obere Schicht 53 aus Siliziumdioxid, in das wärmeleitende Silizium-Substrat 52 und zu dem Sockel 62 bereitzustellen. Der Zünder 60 kann zusätzlich eine Wärmesenke zum weitergehenden Dissipieren der Wärme weg von dem Fliegen-Bereich 54<sub>3</sub> und somit weg von der Schicht 58 aus Zirkon aufweisen.

Der Elektrozündsatz 50 ist demgemäß unempfindlich gegenüber eingekoppelter Hochfrequenzleistung. Aufgrund der Widerstandsreihe, die durch die Widerstände  $R_1$  und  $R_F$  definiert ist, wird die eingekoppelte Hochfrequenzleistung abgeschwächt, wodurch der Fliegen-Bereich 54<sub>3</sub> nur einen Teil der Energie empfängt. Weiterhin bleiben der Fliegen-Bereich 54<sub>3</sub> und die Schicht 58 aus Zirkon relativ kalt, weil die Wärme von den Widerständen  $R_1$  ebenso wie von dem Widerstand  $R_F$  von dem Fliegen-Bereich 54<sub>3</sub> abgeführt wird. Dementsprechend kann eingekoppelte Hochfrequenzleistung in Wärme dissipiert werden, ohne den Elektrozündsatz ungewollt zu zünden.

Der Elektrozündsatz 50 ist auch gegenüber elektrostatischer Entladung unempfindlich, solange die Dauer der Entladung zu kurz ist, um den Fliegen-Bereich 54<sub>3</sub> um ein nennenswertes Maß aufzuheizen. Bei einem von einer elektrostatischen Entladung ausgehenden gepulsten Signal wird der weitüberwiegende Teil der Energie in die großen Widerstände  $R_1$  eingekoppelt, wobei die von den Widerständen  $R_1$  erzeugte Wärme sicher über den Sockel 92 dissipiert wird.

Um den Elektrozündsatz 50 zu zünden, wird ein Strom durch die Widerstände  $R_1$  und  $R_F$  geleitet, der eine ausreichend lange Dauer aufweist, um die Temperatur des Widerstands  $R_F$  zu erhöhen. Die Widerstände  $R_1$  und  $R_F$  weisen einen positiven Temperaturkoeffizienten auf, so daß die Widerstände mit der Temperatur der Schicht 54 aus Aluminium ansteigen. Weil der Fliegen-Bereich 54<sub>3</sub> einen viel kleineren Querschnitt als die serpentinenförmigen Widerstände  $R_1$  aufweist, resultiert aus dem Zündsignal, daß sich der Fliegen-Bereich 54<sub>3</sub> viel schneller aufheizt als die beiden anderen Bereiche 54<sub>1</sub> und 54<sub>2</sub>. Mit ansteigender Temperatur des Fliegen-Bereichs 54<sub>3</sub> steigt der Widerstand  $R_F$  um zwei Größenordnungen nach oben an und wird schließlich größer als der Widerstand  $R_1$ . Im Ergebnis empfängt der Fliegen-Bereich 54<sub>3</sub> das meiste der elektrischen Energie des Zündsignals, heizt sich schnell auf und verdampft zusammen mit der Schicht 58 aus Zirkon in ein Plasma.

Das Plasma kondensiert auf einem kleinen Bereich der in der Nähe befindlichen pyrotechnischen Mischung 69 und heizt diese auf. Nachdem ein kritisches Volumen des pyrotechnischen Materials 69 seinen Zündpunkt erreicht, zündet die gesamte pyrotechnische Mischung 69. Die Schicht 58 aus Zirkon unterstützt die Zündung der pyrotechnischen Mischung 69 durch Erhöhen der Masse des Materials in dem Fliegen-Bereich 54<sub>3</sub>, das sich vom festen Zustand in das Plasma umsetzt. Mit einer größeren Masse ist eine größere Menge von Material verfügbar, um auf dem pyrotechnischen Pulver 69 zu kondensieren, und eine größere Menge an thermischer Energie kann übertragen werden.

Wie oben beschrieben, steigt der Widerstand  $R_F$  an, wenn die Temperatur des Fliegen-Bereichs 54<sub>3</sub> ansteigt.



Sobald der Fliegen-Bereich 54<sub>3</sub> geschmolzen ist, erreicht der Widerstand R<sub>F</sub>, der eine gemäß dem Widerstand des Auslösesystems ausgewählte Geometrie aufweist, den parasitären Widerstand des Auslösesystems, das das Zündsignal bereitstellt. So kann bei Anpassung des erhöhten Widerstands der Schicht 54 aus Aluminium an das Auslösesystem die maximale Energiemenge auf den Fliegen-Bereich 54<sub>3</sub> übertragen werden.

Die pyrotechnische Mischung 69 ist eine Kombination von pulverförmigem Zirkon und Kaliumperchlorat. Bei einigen vorbekannten Elektrozündsätzen wird eine Schicht von leitendem oder halbleitendem Material in ein Plasma erhitzt und das Plasma kondensiert auf der pyrotechnischen Mischung, um den Elektrozündsatz zu zünden. Bei der Erfindung wird demgegenüber die Schicht 58 aus Zirkon in Verbindung mit dem Fliegen-Bereich 54<sub>3</sub> in das Plasma umgewandelt. Das dampfförmige Zirkon unterstützt die Zündung durch direkte Reaktion mit dem Kaliumperchlorat. Der Elektrozündsatz gemäß der Erfindung ist dementsprechend ein wirkungsvollerer Zündmechanismus, weil ein Element der pyrotechnischen Mischung 69 zusammen mit dem Metall verdampft wird. Durch Verwendung von Zirkon, das nach der Zündung brennt, beseitigt ein erfindungsgemäßer Elektrozündsatz die Notwendigkeit für eine Erstladung, wie beispielsweise Bleiazid. Im Ergebnis kann der erfindungsgemäße Elektrozündsatz von einem weniger festen und kostengünstigeren Metallgewebe umgeben sein.

Ein erfindungsgemäßer Elektrozündsatz wurde einem sinusförmigen Hochspannungssignal von 12 Mhz ausgesetzt, das ungefähr 1,5 W tatsächliche Leistung in die Struktur des Elektrozündsatzes einkoppelte. Der Elektrozündsatz wies keine zusätzliche Wärmesenke auf, und es wurde kein Versuch unternommen, eine Luftströmung über die Struktur des Elektrozündsatzes anzufachen. Nachdem der Elektrozündsatz diesem Signal für etwa 15 Minuten ausgesetzt war, war die Wärme wirksam von der Struktur des Elektrozündsatzes weg dissipiert, wodurch die Struktur des Elektrozündsatzes einfach in der Hand gehalten werden konnte. Ebenso ergab eine visuelle Inspektion der Serpentina-förmigen Widerstände und des Fliegen-Bereichs keine relevanten Beschädigungen. Die Struktur des Elektrozündsatzes wurde außerdem anderen Frequenzen mit vergleichbarem Ergebnis unterworfen. Der erfindungsgemäße Elektrozündsatz ist demgemäß unempfindlich gegenüber realer Hochfrequenzleistung.

Ein erfindungsgemäßer Elektrozündsatz wurde auch einer elektrostatischen Entladung ausgesetzt. Die elektrostatische Entladung bestand aus Strompulsen von ungefähr 30 Ampere für unterschiedliche Zeiträume bis zu 1 µsec. Eine visuelle Inspektion der Struktur des Elektrozündsatzes nach den Pulsen der elektrostatischen Entladung ergab keine Beschädigung. Aufgrund der Geometrien der Serpentina-förmigen Widerstände und des Fliegen-Bereichs wird die elektrostatische Entladung vorwiegend in die Serpentina-förmigen Widerstände und entfernt von dem Fliegen-Bereich eingekoppelt, wobei die meiste Energie von den Serpentina-förmigen Widerständen dissipiert wird. Die Elektrozündsätze wurden ebenfalls mit dem Ergebnis, daß keine gegenteiligen Effekte auftraten, wiederholt bepulst.

Um sicher zu stellen, daß die erfindungsgemäßen Elektrozündsätze bei einem ordnungsgemäßen Zündsignal zünden, wurden die Elektrozündsätze an einen elektrolytischen Kondensator von 480 µF angeschlossen, der auf 8 V aufgeladen worden war. Der Kondensator war über einen Metalloxid-Halbleiter-Transistor (MOSFET) in Reihe mit der Struktur des Elektrozündsatzes geschaltet. Verschiedene Elektrozündsätze wurden mit diesem Testaufbau im Anschluß an den Hochfrequenztest und den Test bezüglich elektromagnetische Entladung gezündet, um die Funktionssicherheit der Elektrozündsätze zu überprüfen. Wie erwartet, wurden alle Elektrozündsätze innerhalb eines Bereichs von 1,0 mJ bis 3,0 mJ absoluter Energie gezündet, die von dem elektrolytischen Kondensator aufgenommen worden war.

Bei der Erfindung wird nur ein kleiner Teil der verfügbaren 15 mJ Energie gebraucht, um den Elektrozündsatz zu zünden. Ein erfindungsgemäßer Elektrozündsatz kann daher mit geringen Energien gezündet werden. Die erfindungsgemäße Möglichkeit des Zündens mit geringer Energie ist insbesondere vorteilhaft, wenn ein Auslöseschaltkreis einen hohen parasitären Widerstand aufweist, wie beispielsweise bei einem Kraftfahrzeugairbagsystem. Die Betätigung mehrerer Elektrozündsätze ausgehend von einer einzigen Niedrigenergiequelle ist mit einem Niedrigenergiezündsatz ebenfalls stark erleichtert. So kann eine einzelne Niedrigenergiequelle ausreichen, um mehrere Airbags auszulösen, wie sie wahrscheinlich zukünftig in Kraftfahrzeugen installiert sein werden.

Ein erfindungsgemäßer Elektrozündsatz ist eine relativ einfache integrierte Struktur, die mit extrem geringen geometrischen Abmessungen hergestellt werden kann. Der Elektrozündsatz stellt ein konstante Abschwächung von Hochfrequenzstreuensignalen und Fehlsignalen über das gesamte Frequenzspektrum bereit und kann ebenso sicher und wiederholt die Energie einer typischen elektrostatischen Entladung sowohl in einem Anschlußpin-Anschlußpin-Fall als auch in einem Anschlußpin-Gehäuse-Fall dissipieren.

Die Erfindung ist nicht auf die pyrotechnische Mischung aus Zirkon und Kaliumperchlorat beschränkt, sondern es können auch andere pyrotechnische Mischungen Verwendung finden. Zum Beispiel können die pyrotechnischen Mischungen jegliche geeignete Kombination eines pulverförmigen Metalls mit einem geeigneten Oxidator, wie beispielsweise TiH<sub>1,68</sub>KClO<sub>4</sub> oder andere Mischungen, wie beispielsweise Bor und Kaliumnitrat BKNO<sub>3</sub>, aufweisen. Falls Kaliumnitrat BKNO<sub>3</sub> als pyrotechnische Mischung verwendet wird, kann eine Beschichtung aus Bor über den Fliegen-Bereich 54<sub>3</sub> aufgebracht werden, um den Zündprozeß zu beschleunigen. Dem Fachmann ist klar, daß durch Anpassung der heißen Dampfphase des Plasmas an die pyrotechnische Mischung eine Vielzahl von Materialien verwendet werden kann, um den Fliegen-Bereich 54<sub>3</sub> zu beschichten, um den jeweiligen Prozeß zu beschleunigen.

Das den Fliegen-Bereich 54<sub>3</sub> beschichtende Material muß nicht im elektrischen Kontakt mit dem Fliegen-Bereich 54<sub>3</sub> stehen, sondern kann statt dessen elektrisch isoliert von dem Fliegen-Bereich 54<sub>3</sub> sein. Das Material wird vornehmlich durch konduktiven Wärmeübertrag von dem Fliegen-Bereich 54<sub>3</sub> aufgeheizt, und es wird keine Joule-Aufheizung verursacht, die auftritt, wenn ein Strom durch das Material fließt. So können ein oder mehrere elektrisch isolierende, aber thermisch leitende Materialien zwischen dem Fliegen-Bereich 54<sub>3</sub> und dem Beschichtungsmaterial angeordnet sein.



Die Erfindung ist ebenso nicht darauf beschränkt, daß die Serpentina-förmigen Widerstände und/oder der Fliegen-Bereich aus Aluminium ausgebildet sind; vielmehr können sie aus einer Vielzahl von verschiedenen leitenden Materialien, wie beispielsweise gedruckten Leiterbahnen oder leitendem Epoxidharz ausgebildet sein. Weiterhin können die Dimensionen der Serpentina-förmigen Widerstände und des Fliegen-Bereichs variiert werden, um Abschwächungen unterschiedlicher Größenordnung zu erhalten. Außerdem kann ein erfindungsge-  
 5 mäßiger Elektrozündsatz einen Fliegen-Bereich ohne jegliche Art von Beschichtungsmaterial aufweisen, so daß nur der Fliegen-Bereich in ein Plasma verdampft wird.

In einer zweiten Ausführungsform der Erfindung, die in den Fig. 7(A) und (B) gezeigt ist, weist ein Elektro-  
 10 zündsatz 70 ein als Siliziumscheibe ausgebildetes Substrat 72 mit aufgewachsenen Schichten 74 aus Siliziumdioxid auf der Vorder- und Rückseite oder ein thermisch leitendes aber elektrisch isolierendes Substrat, beispielsweise aus Aluminiumoxid, auf. Die Schichten 74 aus Siliziumdioxid isolieren das Substrat 72 elektrisch, während sie einen Weg von geringem thermischen Widerstand über die Vorder- und Rückseite des Substrats 72 sicherstellen. Vorzugsweise weist das Substrat einen niedrigen nominellen Widerstand auf und ist etwa 1,25 mm breit und lang, und die Schichten 74 aus Siliziumdioxid sind etwa 500 nm dick.

Eine Schicht 76 aus Titan ist aus einer Dampfphase die obere Oberfläche abgelagert, gefolgt von einer Schicht 78 aus Zirkon. Die Schicht 76 aus Titan ist vorzugsweise etwa 0,1 µm dick, und die Schicht 78 aus Zirkon ist etwa 1 µm dick. Die Zirkon-/Titan-Schicht ist dann selektiv weggeätzt worden, um ein Fliegen-Muster mit einem zentralen Brückenbereich mit Abmessungen von etwa 40 mal 40 µm auszubilden.

Eine Schicht 77 aus Titan/Nickel/Gold (Ti/Ni/Au) ist über die rückwärtige Schicht aus Siliziumdioxid aufgebracht und Ti/Ni/Au-Schichten 79<sub>1</sub> und 79<sub>2</sub> sind ebenso auf den Enden der Fliegen-förmigen Schicht 78 aus Zirkon abgelagert, um Kontaktflächen auszubilden. Wie bei der Ausführungsform der Fig. 5(A) und (B) kann der Elektrozündsatz 70 mit einem leitfähigen Epoxidharz an dem Sockel 62 befestigt werden, wobei leitfähiges Epoxidharz die Anschlußpins 66 des Sockels mit den Ti/Ni/Au-Kontaktflächen 79<sub>1</sub> und 79<sub>2</sub> verbindet oder andere Verbindungstypen angewandt werden, einschließlich Drahtbindung etc.

Der Widerstand des Elektrozündsatzes 70 setzt sich aus drei in Reihe geschalteten Widerständen zusammen, wobei R<sub>Land</sub> der Widerstand durch die Ti/Ni/Au-Schichten 79 an jedem Ende der Fliegen-förmigen Schicht 78 aus Zirkon ist und R<sub>Fliege</sub> der Widerstand der Fliegen-förmigen Schicht 78 aus Zirkon ist. In der bevorzugten Ausführungsform beträgt R<sub>Land</sub> etwa 10 bis 20 Ω, während R<sub>Fliege</sub> nur etwa 0,3 Ω beträgt. Der Widerstand der Fliegen-förmigen Schicht 78 aus Zirkon wird gemäß Gleichung 1 bestimmt.

Die elektrische Impedanz, die im Fall eines über die Ti/Ni/Au-Kontakte 79 anliegenden Signals auftritt, ist rein ohmscher Natur und entspricht der Summe 2R<sub>Land</sub> + R<sub>Fliege</sub>. Die die Schicht 78 aus Zirkon erreichenden Signale sind um einen Faktor A abgeschwächt, der R<sub>Fliege</sub>/2R<sub>Land</sub> entspricht, was vereinfacht werden kann zu:

$$A = \frac{(L_{\text{Fliege}}/W_{\text{Fliege}})}{2R_{\text{Land}}} \quad \text{Gleichung 3,}$$

was ein konstanter Wert bei Eingangssignalen geringer Höhe ist und nur von der Länge L<sub>bow</sub> und der Weite w<sub>bow</sub> der Fliegen-förmigen Schicht 78 aus Zirkon und den Widerständen R<sub>Land</sub> bestimmt wird. Obwohl die Dämpfung A vorzugsweise 1/20 bzw. -26 dB beträgt, kann jeder praktische Wert der Dämpfung A durch einfaches Variieren der Geometrie der Schicht 78 aus Zirkon erreicht werden. Bei Eingangssignalen geringer Höhe sind die Widerstände R<sub>Land</sub>, die etwa 10 bis 20 Ω betragen, viel größer als der Widerstand R<sub>Fliege</sub>. So empfangen die Widerstände R<sub>Land</sub> bei diesen Signalthöhen die meiste Energie von den Eingangssignalen und wandeln diese Energie in Wärme um. Die Ti/Ni/Au-Kontakte 79 definieren einen großen Oberflächenbereich für die Leitung von Wärme durch die obere Siliziumdioxid-Schicht 74, durch das thermisch leitende Substrat 72 und bis zum Sockel 62. Im Ergebnis dissipiert die Fliegen-förmige Schicht 78 aus Zirkon bei niedrigen Höhen des Eingangssignals nur einen Teil der Wärme und bleibt relativ kalt. So kann der Elektrozündsatz 70 unempfindlich gegenüber jeglicher Hochfrequenzenergie oder elektrostatischer Entladung bleiben, die in den Elektrozündsatz 70 eingekoppelt wird.

Der Elektrozündsatz 70 wird durch Anlegen eines Zündsignals gezündet, das eine relativ hohe Intensität aufweist. Die Widerstände R<sub>Land</sub> weisen variable Metall-Oxid-Widerstände auf, die zwischen der Titanschicht in den Kontakten 79 und einer auf der Schicht 78 aus Zirkon ausgebildeten Oxidphasen-Schicht ausgebildet sind. Die Variablen Metall-Oxid-Widerstände R<sub>Land</sub> haben einen relativ hohen Widerstand bei geringeren Spannungen, beispielsweise von 25 Ω bei einem anliegenden Signal von 1 V. Bei Signalen höherer Intensität sinken die Metall-Oxid-Widerstände R<sub>Land</sub> deutlich ab und werden klein im Vergleich zu dem Widerstand R<sub>Fliege</sub>. Im Ergebnis wird der Widerstand R<sub>Fliege</sub> bei Zündsignalen hoher Intensität der größte Widerstand und empfängt dementsprechend die meiste Energie des Zündsignals, bis die Schicht 78 aus Zirkon in ein Plasma verdampft. Bei dem Elektrozündsatz 70 können dieselben Arten von pyrotechnischen Mischungen Verwendung finden, wie bei dem Elektrozündsatz 50.

Der Elektrozündsatz 70 kann zusätzlich ein Nebenschlußelement aufweisen, das zwischen den Ti/Ni/Au-Kontakten 79 parallel geschaltet ist. Das Nebenschlußelement hat eine niedrige Impedanz bei Hochfrequenz-Frequenzen und kann einen keramischen Kondensator, eine Diodenanordnung oder eine Sicherung niedriger Impedanz aufweisen. Weiterhin kann das Nebenschlußelement entweder eine diskrete Komponente, eine Kombination von diskreten Komponenten oder direkt auf dem Substrat 72 integriert sein.

Bei einem Elektrozündsatz gemäß der zweiten Ausführungsform wurde eine Hochfrequenz-Impedanz von

etwa  $12\ \Omega$  festgestellt. Ein  $0,2\ \mu\text{F}$  keramischer Kondensator wurde als Nebenschlußelement über den Elektrozündsatz angeordnet und die Impedanz wurde zu  $12\angle 0^\circ\ \Omega$  bei 10 kHz und zu  $0,3\angle -65^\circ\ \Omega$  bei 20 MHz bestimmt. Wie erwartet war die Impedanz bei höheren Frequenzen im wesentlichen kapazitiv. Die Induktivität der Leitungen hatte eine Resonanz bei 4 MHz und wirkte bei höheren Frequenzen induktiv.

Um Tests bezüglich elektrostatischer Entladung durchzuführen, wurde der Elektrozündsatz gemäß der zweiten Ausführungsform Strompulsen von etwa 24 Ampere für verschiedene Zeitintervalle bis zu einem Bruchteil einer Mikrosekunde ausgesetzt. Eine Untersuchung des Elektrozündsatzes im Anschluß an die Strompulse ergab, daß der Elektrozündsatz unverändert war. Die Elektrozündsätze wurden ohne gegenteilige Konsequenzen wiederholt Pulsen ausgesetzt.

Um sicher zu stellen, daß die Elektrozündsätze gemäß der zweiten Ausführungsform nach dem Hochfrequenztest und dem Test bezüglich elektrostatischer Entladung zünden, wurden die Elektrozündsätze mit einem elektrolytischen Kondensator von  $40\ \mu\text{F}$  verbunden, der auf 22 V aufgeladen war, wobei der Elektrozündsatz über einen MOSFET-Transistor mit dem Kondensator in Reihe geschaltet war. Eine Anzahl von Elektrozündsätzen wurden mit dieser Anordnung gezündet und absorbierte von 1 mJ bis 3 mJ absolute Energie. Die in den Elektrozündsätzen gemessenen Spitzenströme lagen oberhalb von 16 Ampere für eine Dauer von etwa 1 bis 2  $\mu\text{sec}$ . Die Elektrozündsätze 70 können demnach mit nur einem kleinen Teil der zur Verfügung stehenden Energie von 10 mJ gezündet werden. Die Elektrozündsätze könnten ebenso mit einem auf nur 10 V aufgeladenen  $480\ \mu\text{F}$ -Kondensator gezündet werden.

Bei der zweiten Ausführungsform der Erfindung werden nichtlineare Widerstände  $R_{\text{land}}$  in Reihe mit dem Zündelement angeordnet, daß die Fliegen-förmige Schicht 78 aus Zirkon aufweist. Die Erfindung kann daher das Zündelement vor Hochfrequenzstreuksignalen schützen, ohne die Verwendung einer großen Ferriterle oder eines Kondensators. Weiterhin kann das Zündelement ohne Verwendung von anderen Elementen, beispielsweise von Dioden, vor einer elektrostatischen Entladung geschützt werden.

Die Fig. 8(A) und (B) zeigen ein Beispiel eines Nebenschlußelements 80, das parallel zu einem erfindungsgemäßen Elektrozündsatz, beispielsweise dem Elektrozündsatz 50 oder 70, geschaltet werden kann. In diesem Beispiel weist das Nebenschlußelement 80 eine Niedrig-Impedanz-Sicherung mit einem Substrat 82 aus poliertem Aluminium oder Silizium auf. Eine dünne Schicht 84 aus Titan ist auf dem Substrat 82 angeordnet, gefolgt von einer dickeren Schicht 86 aus Aluminium, die teilweise weggeätzt ist, um ein Fliegen-Muster auszubilden. Vorzugsweise ist die Schicht 84 aus Titan etwa  $0,1\ \mu\text{m}$  dick, und die Schicht aus Aluminium ist etwa  $1,0\ \mu\text{m}$  dick und weist Abmessungen von etwa  $25\ \mu\text{m}$  mal  $25\ \mu\text{m}$  im Brückenbereich des Fliegen-Musters auf. Weiterhin hat das Substrat eine Breite von etwa 1,5 mm. Zwei Lagen 88<sub>1</sub> und 88<sub>2</sub> aus Titan/Nickel/Gold (Ti/Ni/Au) sind auf beiden Enden der Fliegen-förmigen Schicht 86 aus Aluminium angeordnet, um Kontakte für das Nebenschlußelement 80 auszubilden. Diese Kontakte 88<sub>1</sub> und 88<sub>2</sub> sind parallel zu den Kontakten des Elektrozündsatzes geschaltet, also beispielsweise zu den Kontakten 55<sub>1</sub> und 55<sub>2</sub> oder zu den Kontakten 79<sub>1</sub> und 79<sub>2</sub>. Der Widerstand des Nebenschlußelements 80 beträgt etwa  $0,2\ \Omega$  und stellt derart einen Widerstandspfad geringer Impedanz zum Ableiten des Stroms von dem Elektrozündsatz dar, um dadurch den Zünder zu schützen. Das Nebenschlußelement 80 stellt vorzugsweise auch einen Weg geringer thermischer Impedanz von der Schicht 86 aus Aluminium zu dem Substrat 82 sowie zu einer Wärmesenke, die in thermischen Kontakt mit dem Substrat 82 stehen kann, bereit.

Bei eingekoppelter Hochfrequenzenergie von geringer Höhe und bei einer elektrostatischen Entladung wird die Energie aufgrund dessen geringer Impedanz durch das Nebenschlußelement 80 geleitet. Wenn andererseits ein Zündsignal empfangen wird, hat das Signal eine Dauer und eine Energiestärke, die ausreichend sind, um den Stromkreis des Nebenschlußelements 80 zu unterbrechen. Sobald das Nebenschlußelement 80 aus dem Stromkreis ausfällt, wird das Zündsignal zum Zünden des Elektrozündsatzes in den Elektrozündsatz eingekoppelt. Dem Fachmann ist klar, daß die Energie, die gebraucht wird, um den Schaltkreis des Nebenschlußelements 80 zu unterbrechen, durch Variieren der Geometrie der Schicht 86 aus Aluminium eingestellt werden kann.

Ein erfindungsgemäßes Nebenschlußelement ist nicht auf das Nebenschlußelement 80 beschränkt. Zum Beispiel kann ein Nebenschlußelement auf demselben Substrat wie der Elektrozündsatz ausgebildet sein, oder es kann als diskrete Komponente hergestellt werden. Weiterhin kann eine Diode zusätzlich oder alternativ als Nebenschlußelement verwendet werden. Eine Diode kann direkt auf dem Silizium-Substrat des Elektrozündsatzes ausgebildet sein. Z. B. besitzen sowohl ein pn-Übergang als auch eine Schottky-Barriere eine ausreichend große Übergangskapazität pro Flächeneinheit, um Hochfrequenzstreuksignale wirksam nebenschließen. Weiterhin kann ein erfindungsgemäßes Nebenschlußelement in anderen Anwendungen als im Zusammenhang mit einem erfindungsgemäßen Elektrozündsatz verwendet werden, z. B. mit anderen Elektrozündsätzen oder mit vollständig anderen Arten von Schaltkreisen.

#### Patentansprüche

1. Elektrozündsatz mit einem ersten Element (54<sub>1</sub>, 79<sub>1</sub>), das einen ersten Widerstand aufweist, mit einem zweiten Element (54<sub>2</sub>, 79<sub>2</sub>), das einen zweiten Widerstand aufweist, mit einem das erste Element und das zweite Element miteinander verbindenden dritten Element (54<sub>3</sub>, 78), das einen dritten Widerstand aufweist und das zum Verdampfen in ein Plasma vorgesehen ist, um eine pyrotechnische Mischung zu zünden, wobei das erste Element, das zweite Element und das dritte Element in Reihe geschaltet sind und einen Gesamtwiderstand mit nichtlinearen Eigenschaften aufweisen und wobei die nichtlinearen Eigenschaften des Gesamtwiderstands derart ausgebildet sind, daß das dritte Element von einem Signal niedriger Intensität weniger Energie erhält als sowohl das erste Element als auch das zweite Element, aber von einem Signal hoher Intensität mehr Energie erhält als sowohl das erste

Element als auch das zweite Element.

2. Elektrozündsatz nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Element und das zweite Element auf einem Substrat (52, 72) angeordnet sind.

3. Elektrozündsatz nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der erste und der zweite Widerstand gleich groß sind.

4. Elektrozündsatz nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß ein Anteil der pyrotechnischen Mischung (69) zum Verdampfen in das Plasma zusammen mit dem dritten Element auf dem dritten Element vorgesehen ist.

5. Elektrozündsatz nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Anteil der pyrotechnischen Mischung Zirkon aufweist und das die pyrotechnische Mischung eine Mischung von Zirkon und Kaliumperchlorat aufweist.

6. Elektrozündsatz nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Element und das zweite Element ein größeres Verhältnis der Oberfläche zum Volumen aufweisen als das dritte Element.

7. Elektrozündsatz nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Element (54<sub>1</sub>) und das zweite Element (54<sub>2</sub>) jeweils in Serpentin-Form auf dem Substrat (52) ausgebildet sind.

8. Elektrozündsatz nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Element, das zweite Element und das dritte Element eine Schicht aus Aluminium (54) aufweisen.

9. Elektrozündsatz nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das dritte Element Zirkon (58) aufweist.

10. Elektrozündsatz nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Element (79<sub>1</sub>), das zweite Element (79<sub>2</sub>) und das dritte Element (78) in Fliegen-Form auf dem Substrat (72) angeordnet sind.

11. Elektrozündsatz nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat wärmeleitend ausgebildet ist, um Wärme von dem dritten Element abzuleiten.

12. Elektrozündsatz nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß eine Schicht (53, 74) aus Siliziumdioxid vorgesehen ist, die zwischen dem Substrat und dem ersten Element, dem zweiten Element und dem dritten Element ausgebildet ist.

13. Elektrozündsatz nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß eine mit dem Substrat verbundenen Wärmesenke vorgesehen ist, um die durch das Substrat hindurchtretende Wärme zu dissipieren.

14. Elektrozündsatz nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß ein erster Kontakt (55<sub>1</sub>) an dem ersten Element und ein zweiter Kontakt (55<sub>2</sub>) an dem zweiten Element ausgebildet ist, wobei die Kontakte zum Empfangen des Signals hoher Intensität vorgesehen sind und Schichten aus Titan, Nickel und Gold aufweisen.

15. Elektrozündsatz nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß das dritte Element (54<sub>3</sub>, 78) einen positiven Temperaturkoeffizienten aufweist, so daß der dritte Widerstand mit der Temperatur ansteigt.

16. Elektrozündsatz nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Element (79<sub>1</sub>) und das zweite Element (79<sub>2</sub>) Metall-Oxidphase-Übergangswiderstände aufweisen und daß der erste und der zweite Widerstand mit ansteigender Signalintensität abnehmen.

17. Elektrozündsatz nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß ein Nebenschlußelement (80) mit niedriger Impedanz vorgesehen ist, das parallel über das erste Element und das zweite Element angeschlossen ist.

18. Elektrozündsatz nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß Nebenschlußelement (80) eine Schicht aus elektrisch leitendem Material (86) aufweist, die in Fliegen-Form angeordnet ist, wobei ein zentraler Verbindungsbereich dieser leitenden Schicht zum Verdampfen in ein Plasma bei dem Signal hoher Intensität vorgesehen ist.

19. Elektrozündsatz nach Anspruch 3 und Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrisch leitende Schicht auf dem Substrat (52, 72) ausgebildet ist.

20. Elektrozündsatz nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß das Signal niedriger Intensität eine elektrostatische Entladung umfaßt, die das erste Element und das zweite Element dämpfen, wodurch verhindert wird, daß die elektrostatische Entladung das dritte Element in ein Plasma verdampft.

21. Elektrozündsatz nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß das Signal niedriger Intensität eingekoppelte Hochfrequenz-Energie umfaßt, die das erste Element und das zweite Element dämpfen, wodurch verhindert wird, daß die Hochfrequenz-Energie das dritte Element in ein Plasma verdampft.

21. Elektrozündsatz nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß der dritte Widerstand bei einer Umgebungstemperatur des Elektrozündsatzes viel niedriger ist als der erste und der zweite Widerstand und daß ein Signal zum Zünden des Elektrozündsatzes es die Temperatur des dritten Elements erhöht, wodurch der dritte Widerstand viel größer wird als der erste und der zweite Widerstand, so daß das Signal im wesentlichen durch das dritte Element in Wärme umgewandelt wird.

22. Elektrozündsatz nach einem der Ansprüche 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Element und das zweite Element eine viel größere Oberfläche als das dritte Element aufweisen.

23. Nebenschlußelement zur Verwendung in einem Elektrozündsatz mit einem Substrat (82),

einer in Fliegen-Form mit einem schmalen Zentralbereich auf dem Substrat ausgebildeten leitenden Schicht (86),

einem ersten, an einem Ende der Fliegen-förmigen leitenden Schicht ausgebildeten Kontakt (88<sub>1</sub>) und einem zweiten, am gegenüberliegenden Ende der Fliegenförmigen leitenden Schicht ausgebildeten Kontakt (88<sub>2</sub>),

wobei die leitende Schicht einen Weg niedriger Impedanz zwischen dem ersten Kontakt und dem zweiten Kontakt darstellt und wobei der Zentralbereich der leitenden Schicht bei einer Signalintensität oberhalb eines bestimmten Schwellwerts zum Verdampfen in ein Plasma vorgesehen ist.

24. Nebenschlußelement nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die leitende Schicht eine Schicht (82) aus Aluminium aufweist.

25. Nebenschlußelement nach Anspruch 22 oder 23, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat thermisch leitend ist, um Wärme von der leitenden Schicht abzuführen.

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

10/784,012

ZEICHNUNGEN SEITE 1

Nummer:

DE 196 29 009 A1

Int. Cl. 6:

F 42 C 11/00

Offenlegungstag:

27. Februar 1997

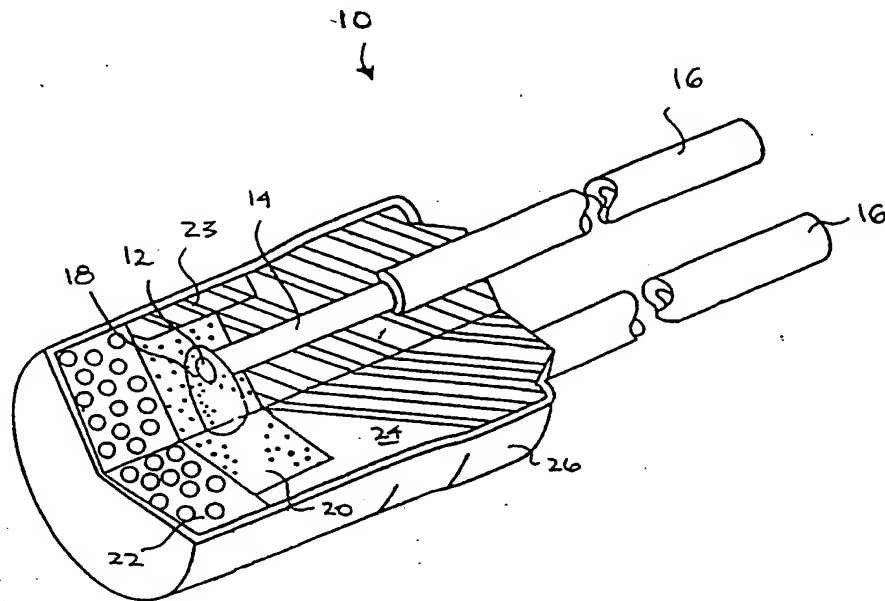


FIG. 1

(Stand der Technik)

FIG. 2(A)  
(Stand der Technik)

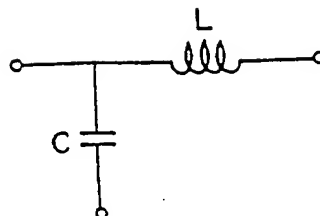


FIG. 2(B)  
(Stand der Technik)

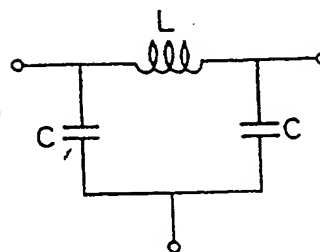
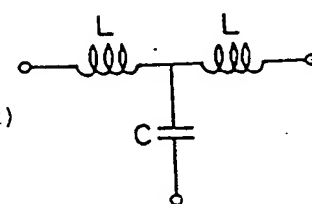


FIG. 2(C)  
(Stand der Technik)





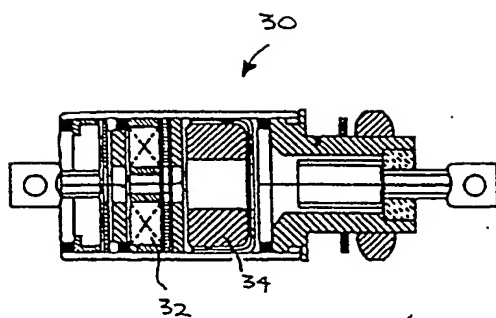


FIG. 3(A)  
(Stand der Technik)

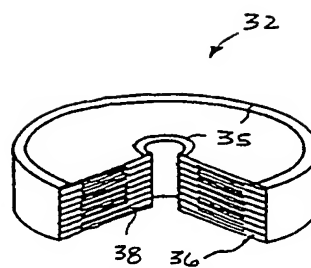


FIG. 3(B)  
(Stand der Technik)

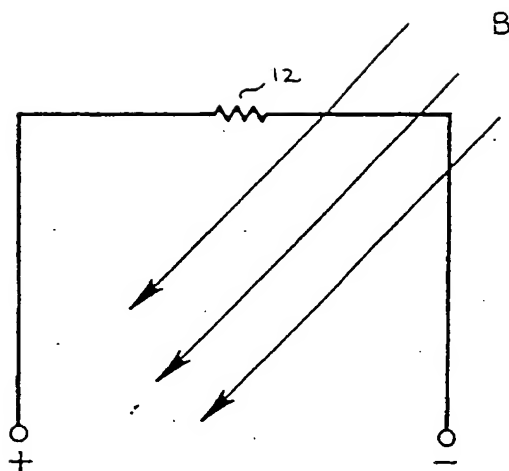


FIG. 4

(Stand der Technik)

FIG. 5(A)

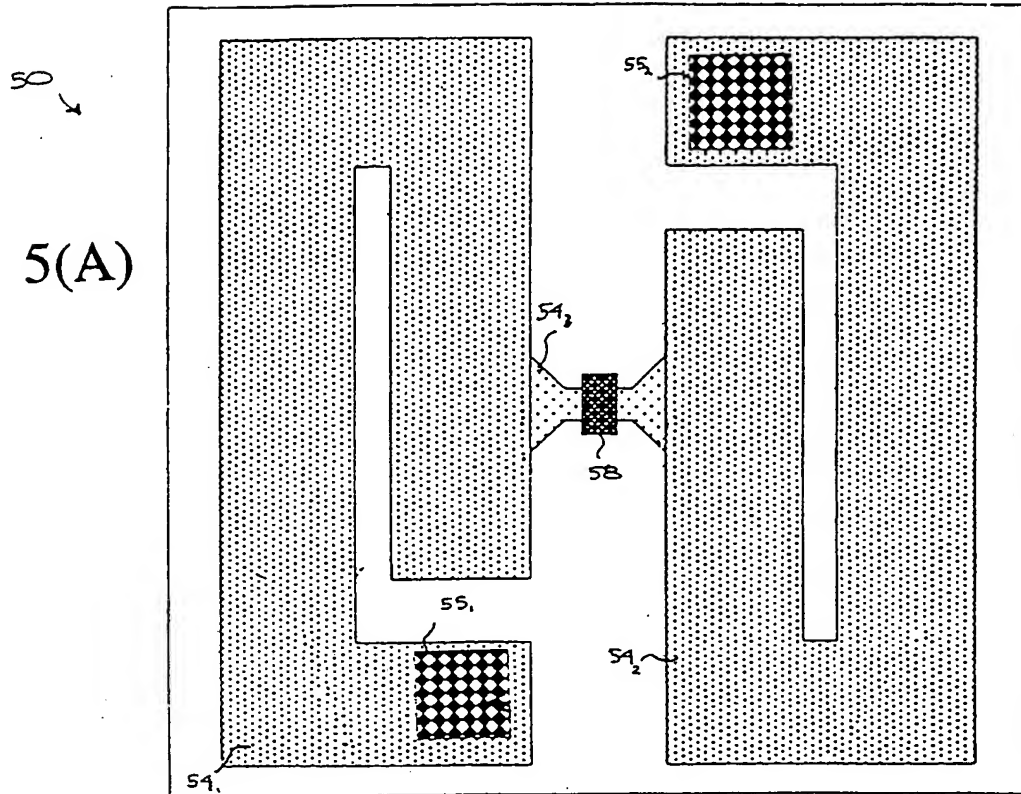
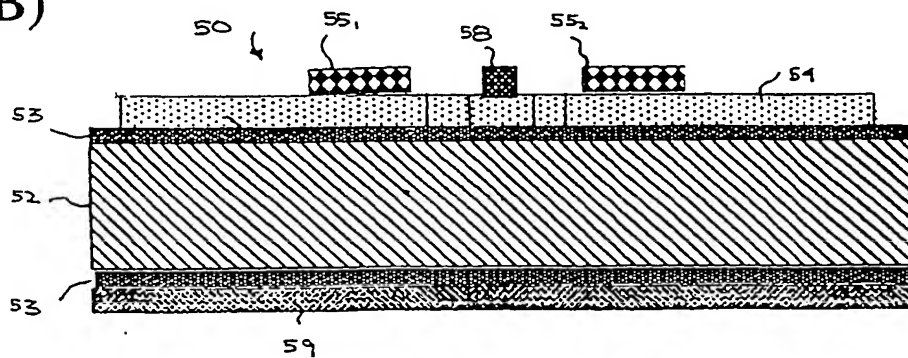


FIG. 5(B)



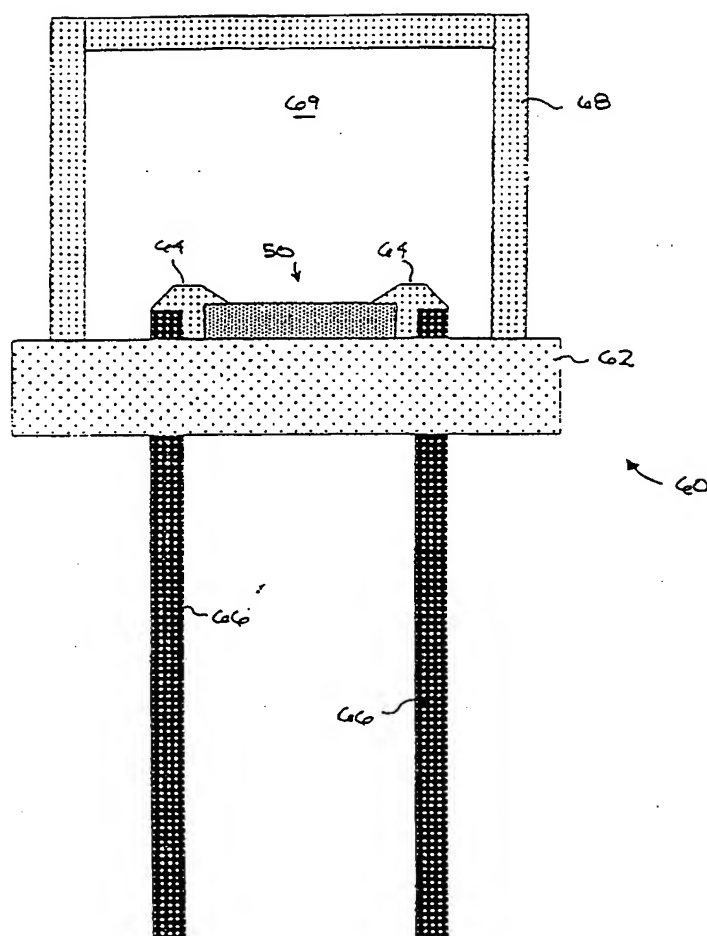


FIG. 6

FIG. 7(A)

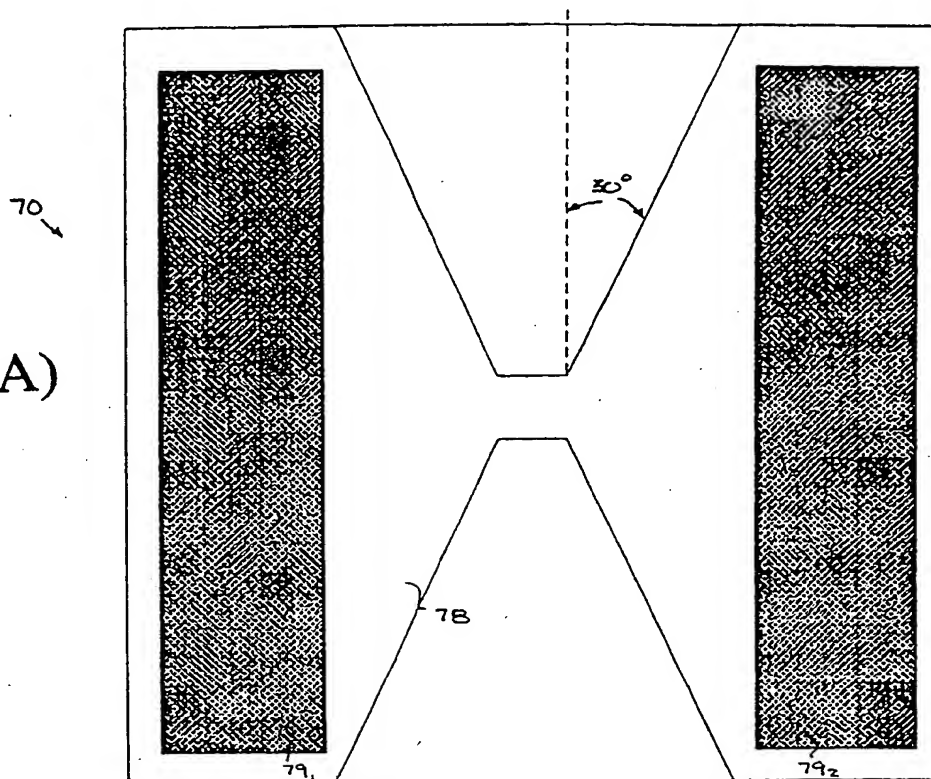


FIG. 7(B)

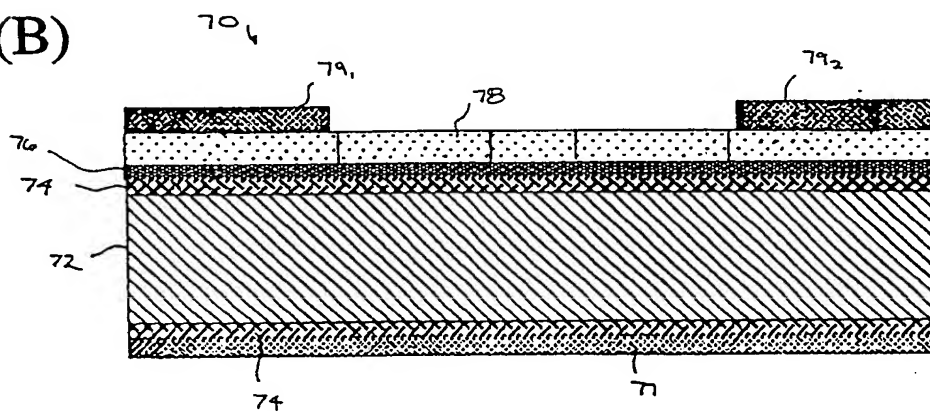


FIG. 8(A)

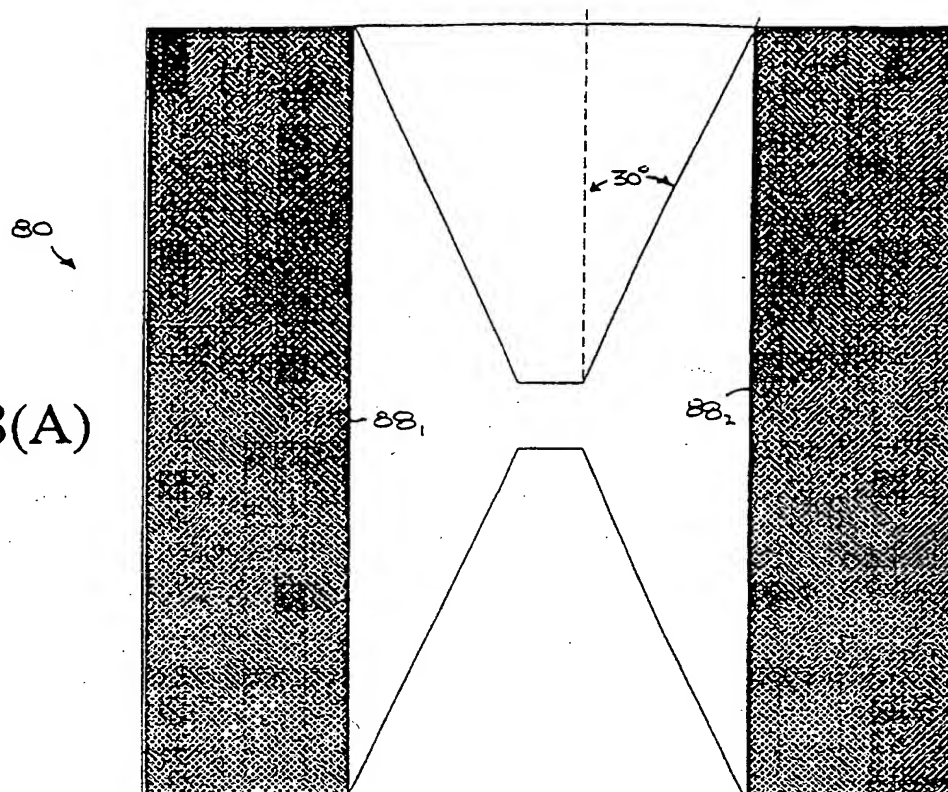


FIG. 8(B)

